УДК 625 https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-37-42

К обоснованию перспективных направлений повышения безопасности дорожного проектирования

О. В. Денисов, Л. А. Лондарева

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Введение. Рассматривается повышение роли автомобильных дорог в системе экономики современного государства. Перечислен и охарактеризован ряд преимуществ автотранспорта — гибкость доставки, скорость и надежность перевозок, отсутствие лишних перегрузок доставляемых материалов, экономичность.
Постановка задачи. Обосновываются утверждения о том, что качество автодорог существенно влияет на безопасность дорожного движения, а критическое превышение числа допустимых замечаний по их эксплуатации, отклонений от стандартов и норм ведёт к риску утраты комплекса эксплуатационных качеств объектов дорожного строительства.
Теоретическая часть. Проанализирована динамика строительства дорог в нашей стране в прошедшем столетии. Определены особенности дорожного строительства, обусловленные влиянием комплекса разнородных факторов. Приведены примеры современной реконструкции автодорог мегаполисов, позволяющие определить основные требования к современной дороге, её основные потребительские свойства.
Выводы. Дорожное строительство станет более совершенным в случае применения цифровых технологий — систем на основе искусственного интеллекта, нейросетей и др. Технологии ближайших десятилетий, под управлением которых будет находиться вся система — «проектирование–ремонт–производство–контроль–транспортировка», позволят получить высокие показатели безопасности в области дорожного строительства.

Ключевые слова: автодороги, безопасность эксплуатации, логистические системы автотранспорта, искусственный интеллект, нейросети, генеративный дизайн.

Для цитирования: Денисов О. В. К обоснованию перспективных направлений повышения безопасности дорожного проектирования/ О. В. Денисов, Л. А. Лондарева // Безопасность техногенных и природных систем. — 2020. — № 2 — С. 37−42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-37-42

On the substantiation of promising areas for improving road design safety

O. V. Denisov, L. A. Londareva

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Introduction. The article considers the increasing role of highways in the economy of the modern state. A number of advantages of motor transport are listed and described: flexibility of delivery, speed and reliability of transportation, absence of unnecessary overloads of delivered materials, and economy.
Problem Statement. The authors substantiate the claims that the quality of roads significantly affects road safety, and the critical excess of the number of permissible shortcomings in their operation, deviations from standards and norms lead to the risk of losing the complex of operational qualities of road construction objects.
Theoretical Part. The paper analyzes the dynamics of road construction in our country in the past century. The features of road construction caused by the influence of a number of heterogeneous factors are determined. Examples of modern reconstruction of highways in metropolises are given, which allow determining the main requirements for a modern road and its main consumer properties.
Conclusion. Road construction will become more advanced if digital technologies are used — systems based on artificial intelligence, neural networks, etc. The technologies of the next decades, which will control the entire system "design-repair-production-control–transportation", will allow you to get high safety indicators in the field of road construction.

Keywords: roads, operation safety, logistics systems of vehicles, artificial intelligence, neural networks, generative design.

For citation: O. V. Denisov, L. A. Londareva. On the substantiation of promising areas for improving road design safety: Safety of Technogenic and Natural Systems. 2020;2: 37−42. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2020-2-37-42

Введение. Кровеносная система экономики любого современного государства — это автомобильные дороги. Они призваны удовлетворять потребности юридических лиц, хозяйственного комплекса и физических лиц в перевозках. Без наличия соответствующей сети автомобильных дорог эта задача не может быть реализована в полном объеме.

В логистических системах автотранспорт обладает рядом преимуществ: гибкость доставки, достаточно высокая скорость, надежность, отсутствие перегрузок на доставляемые материалы, относительная экономичность.

Опираясь на технические термины, можно сказать, что автомобильные дороги — это комплекс инженерных сооружений, в которые входят: грунтовое основание, дорожное покрытие, объекты капитального строительства, технические системы для обустройства дорожной сети, предохранительные специальные элементы и сооружения, а также здания и сооружения автосервиса, автотранспортных и дорожно-эксплуатационных организаций. Огромная территория России с различной географической плотностью населенных пунктов, объектов экономики и сельскохозяйственных областей требует оптимального подхода к проектированию безопасной дорожной сети с учетом логистических потоков товаров и услуг.

Теоретическая часть. Проанализировав динамику строительства дорог, можно сделать вывод, что со времени зарождения автомобильного транспорта в нашей стране (примерно с 1925 года) и до последнего десятилетия двадцатого века величина построенной стандартной дорожной сети увеличилась более, чем в 65 раз. В послевоенное десятилетие (с 1950 по 1960 годы) величина построенной стандартной дорожной сети увеличивалась каждый год примерно на 9 000 км, а с началом применения тяжелой дорожно-строительной техники (после 1960 г) более, чем на 20×10^3 км в год. Наибольший прирост сети государственных дорог (дорог общего пользования) с твердым покрытием был достигнут в период последнего экономического рывка социализма (1966–1975 гг.) — в среднем 26 тыс. км в год. К началу 80-х дороги вытянулись уже на 800 тыс. км. При этом историческая статистика показывает, что по различным, в основном экономическим, причинам с середины 70-х годов скорости возведения дорожных объектов уменьшаются [1].

Автодороги в европейской части РФ расходятся в форме многолучевой звезды, как и во времена гужевого транспорта более ста лет назад. Сегодня подобная топология сети может быть объяснена слабыми горизонтальными экономическими связями между городами и регионами нашей страны.

Автомобильный парк России увеличивается значительными темпами, что требует развития дорожной сети. Объём перевозок автомобилями в 1,5 раза выше, чем железнодорожным; в 5 раз больше, чем трубопроводным и в 8 раз больше, чем водным транспортом.

Рост интенсивности автомобильного трафика привел к существенному изнашиванию и разрушению автодорог. Вследствие этого увеличилась потребность в ремонтно-восстановительных работах. Анализ статистических материалов показал, что дороги в стране сегодня не соответствуют требованиям ровности, нуждаются в упрочняющем ремонте покрытия, имеют стандартные ограждающие конструкции, эксплуатируются без видимой или нанесенной разметки.

Если уделять недостаточно внимания ремонтно-восстановительным работам, дорожные условия станут хуже. Следствием этого станут уменьшение производительности труда, увеличение эксплуатационных затрат, износа машин (на 30%) и количества ДТП.

По состоянию на 2020 год сложно обстоят дела с состоянием автодорог в крупных мегаполисах (за исключением г. Москвы). Одной из проблем РФ, наряду с недостаточной компетентностью отдельных руководителей в сфере строительства и эксплуатации автомобильных дорог, является отсутствие необходимых финансовых средств на текущий, капитальный ремонт и реконструкцию уличной сети. По этой причине выделенные ограниченные финансовые средства расходуются неэффективно [2].

Есть, конечное, и положительные примеры по реконструкции дорог уличной сети. В начале девяностых была произведена полная реконструкция центральной улицы Большая Садовая в г. Ростове-на-Дону. Реконструкцией предусматривалось не только снятие верхнего слоя покрытия дорожной одежды, но и снятие всей конструкции основания до брусчатки, уложенной вначале 20-го века. Одновременно с этим были заменены многочисленные инженерные коммуникации, вводы в здания, произведены работы по устройству проезжей части, а также осуществлена укладка тротуарной плитки. После этого серьезный ремонт практически не выполнялся. Однако качественная реконструкция улицы позволила увеличить межремонтный цикл почти до четверти века [3].

В современной истории РФ подобных примеров при реконструкции автодорог мегаполисов крайне мало. Основными требованиями к современной автомобильной дороге, с учетом ее категории, являются показатели технического уровня и эксплуатационного состояния, а именно следующие свойства:

– экономичность — является наиболее актуальным показателем ввиду высокой стоимости строительства и эксплуатации даже при сравнении со стоимостью аналогичных дорог в Европе;

– скорость движения — определяет пропускную способность дороги и обеспечивается качеством проектирования трассы, искусственных сооружений, грунтового полотна и дорожной одежды;

– безопасность движения — предполагает рациональное обустройство и поддержание исправного технического состояния дороги и дорожных сооружений, регулирования движения с установкой дорожных знаков, различных ограждений, систем для упорядоченности движения, что снижает количество заторов и ДТП;

– удобство пользования дорогой за счет улучшения управления автомобилем и возможности безопасной остановки по различным причинам. Так, например, в Великобритании на Мотервеях предусматривается обочина в виде уменьшенной полосы движения с дорожным покрытием. Через каждые 3 км установлены бесплатные телефоны со справочным бюро дорожной службы. Данный опыт можно использовать и в нашей стране.

– расчетная нагрузка на автодорогу обеспечивается запроектированной конструкцией дорожной одежды и инженерных сооружений. Из-за различных причин, включая занижение расчетных нагрузок, на дорожной одежде появляются колеи, продольные и поперечные трещины, что в последствии приводит к разрушению дорожной одежды. В Канаде, где морозы могут разрывать не только бетон, асфальт, металл, но и быть сильнее, чем в Средней полосе России, часть дорог (90%) выполнена грунтовыми с щебеночным покрытием, по которому можно двигаться до 100 км/час. Участки дорог закреплены за бригадами, укомплектованными скреперами, катками и самосвалами.

В России меры по взиманию платы за пользованием автодорогами машин большой грузоподъемности по системе «Платон» решают экономические проблемы улучшения качества автодорог не с оптимальной эффективностью [4].

Постановка задачи. С целью повышения качества строительства и эксплуатации автомобильных дорог необходимо выполнить комплекс мероприятий, объединенных в систему, предусматривающую, например, следующие параметры:

– $К_д$ — переработка законодательно-нормативной документации на предмет соответствия лучшими мировым аналогам;

– $К_р$ — повышение уровня подготовки руководителей и специалистов, осуществляющих проектирование нового строительства, реконструкцию, капитального и текущего ремонтов автодорог в населенных пунктах и вне городской дорожной сети;

– $К_м$ — повышение требований к качеству используемых в дорожном хозяйстве материалов изделий и конструкций;

– $К_т$ — применение передовых методов и технологий в дорожном хозяйстве при различных условиях выполнения работ.

Перечисленные параметры обусловлены прошлыми историческими и современным уровнями развития техники и технологии дорожного строительства в РФ и в мире. Уровни развития техники и технологии дорожного строительства не всегда позволяют обеспечить высокое качество и надежность ключевых параметров (например, дорожного покрытия) [5].

Превышение допустимых норм при сооружении дорожного покрытия может быть не связано с общим современным уровнем развития техники и технологии дорожного строительства, но может приводить к дорожно-транспортным происшествиям (ДТП). Тогда ДТП представляет собой вероятностное событие, где, например, причинами может стать человек или технологический сбой.

Вероятность аварии определяется вероятностью наступления события: в первом случае — антропогенной ошибкой при управлении ТС в сложных дорожных условиях или физической невозможности управления ТС в сложных дорожных условиях (единовременно и /или последовательно) {P(A)}, во втором — {P(A)} и вероятностью технического и (или) технологического сбоев (техногенной причины) — {P(T)}.

Риск ДТП может определяться состоянием основных объектов (человека, автомобиля, дороги), находящихся «в норме» или «не в норме». «Норма» также не исключает рисков за определенное время деятельности человека, эксплуатации дороги или машины. Риск ДТП определяется вероятностью P возникновения негативной ситуации и его последствий X:

$$R = \{P, X\}.$$

При этом скалярной величиной — математическим ожиданием последствий можно описать показатель риска ДТП:

$$R= PX.$$

Для нормального режима работы объектов автотранспортных сетей характерны небольшие (постоянные) нагрузки (микроущербы), воздействующие на человека (данным вопросом занимается охрана труда) и окружающую среду (экологические проблемы от выбросов ДВС). Данные нагрузки могут быть небольшими, но обязательными, с вероятностью близкой к единице (P_{norm} ~1).

Аварийные ситуации, например при ДТП, характеризуются гораздо большими, но кратковременными нагрузками (значительными ущербами X_i и последствиями) на человека и окружающую среду ($X_{extr}>>X_{norm}$), но меньшей вероятностью наступления негативного события ($P_{extr}<<1$; $P_{extr}<<P_{norm}$).

Анализ позволяет сделать вывод, что качество автодорог существенно влияет на безопасность дорожного движения, а критическое превышение числа допустимых замечаний по их эксплуатации, отклонений от стандартов и норм приводит к риску утраты комплекса эксплуатационных качеств объектов дорожного строительства [6].

Дополнительно можно отметить, что на отдельных участках дорог существуют места, характеризующиеся большим риском возникновения дорожно-транспортных происшествий. В их числе железнодорожные переезды, места пересечения с магистральными нефте- и газопроводами, эстакады, мосты. Эти места являются потенциально опасными, так как вероятность возникновения аварий, особенно в случае перевозок особо опасных грузов, будет значительно выше вероятности совершения этих событий на других участках дорог.

Разберем пример, связанный с качеством и целостностью N-го дорожного покрытия. Предположим, что N-е дорожное покрытие имеет n = 10 000 элементов (по одному метру), которые независимо друг от друга за определенный период времени T могли получать повреждения с параметрами, не соответствующими ГОСТ с вероятностью $q = 10^{-4}$. Если хотя бы один элемент получает повреждение, дорога на участке длиной в 10 000 элементов становится небезопасной. Какова вероятность выхода из строя дороги за время T?

Пусть событие A_i = [в течение периода времени Ti-й элемент дороги исправен (не поврежден)]. Тогда событие C = [дорога исправна и не повреждена в течение периода времени T] можно представить в простом виде

$$C = A_1A_2\ldots A_n,$$

вероятность которого

$$P\{C\} = P\{A_1\}\ P\{A_2\}\ldots\ P\{A_n\} = p^n,$$

где $p = P\{A_i\} = 1 – P\{A_i прот\}= 1 – q = 1 – 10^{-4} = 0{,}9999$. При этом вероятность в этом случае выхода из строя дороги на всем участке длиной в 10 000 элементов, когда она становится небезопасной,

$P\{C_{прот}\}= 1 – P\{C\}= 1 – (1 – q)^n= 1 – (1 – 10^{-4})^{10000} = 1 – e^{-1} = 0{,}632$.

На дороге при таком качестве (надежности ее многочисленных элементов) безопасно передвигаться не получится. Приходится постоянно заменять ставшее негодным покрытие, проводить «ямочные» ремонты и тому подобные работы [7].

Обсуждение и заключения. Главная идея перспективных на сегодня направлений в повышении безопасности дорожного проектирования и строительства состоит в том, что инженер не проектирует дорожное покрытие, а только задает нужные параметры и условия. Просчитывает заданные параметры и предлагает ряд готовых оптимизированных решений программа. В итоге могут получиться дороги, похожие на натурный природный объект.

Такие технологии станут реальными после появления перспективных мощных программ с алгоритмами на основе искусственного интеллекта и мощных строительных 3D-принтеров.

Разделим перспективные направления на следующие виды:

– топологическую оптимизацию (экономия материала, не несущего нагрузки);

– применение трабекулярных пористых структур в виде небольшого пучка, стержня, стойки дорожного ограждения;

– применение искусственного интеллекта на основе нейросетей и других компьютерных решений после принятия их каждым человеком в отдельности и обществом в целом [8].

Главная область применения данных перспективных технологий — значительное снижение веса используемых материалов при сохранении или увеличении прочности дорожного покрытия. Основное препятствие для внедрения перспективных технологий — не программное обеспечение, а производство.

Весьма вероятно, что скоро все поменяется. Данные технологии появятся в ближайшем десятилетии, возможно, одновременно с широким применением беспилотного транспорта, который также может взять на себя функции контроля целостности дорожного покрытия. В составе системы «проектирование–ремонт–производство–контроль–транспортировка» с показателями вероятности $q = 10^{-9}–10^{-12}$ можно ожидать показателей безопасности, стремящихся к единице.

Библиографический список

1. Лондарева, Л. А. Факторы и принципы регулирования рынка стоимости земли и объектов жилищного строительства / Л. А. Лондарева, В. А. Терентьев, О. А. Побегайлов // Инженерный вестник дона. — 2013. —№4 (27). — С. 156.

2. Лондарева, Л. А. Структура недвижимости и ценовая политика земельных участков в г. Ростове-на-дону / Л. А. Лондарева, Е. В. Купервар, В. А. Терентьев // Научное обозрение. — 2014, №9. — С. 970–973.

3. Кузов автомобиля повышенной безопасности : патент 2270778 Рос. Федерация : B62D 23/00 01/06 / О. В. Денисов, И. В. Денисов, Д. О. Денисов. — № 2004104135/11; заявл. 12. 02. 04; опубл. 27.07.05, Бюл. №21. — 2 с.

4. Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъектам Российской Федерации за 2018 год [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. — Режим доступа : http://www.gks.ru/free_ doc/new_site /business/trans-sv/t2-2.xls (дата обращения : 15.05.2020).

5. Носарев, А. В. Автомобильные дороги России / А. В. Носарев. — Москва : Межотраслевой Альманах, 2010. — №30.

6. Язьев, Б. М. Сплавы с памятью формы в кузовах автомобилей: повышение безопасности / Б. М. Язьев, О. В. Денисов // Инженерный вестник Дона. — 2015, №2(36). — С. 122.

7. Есипов, Ю. В. Разработка методики оценивания границ приемлемого профессионального риска / Ю. В. Есипов, Э. Г. Хорошун, Н. Я. Самчук-Хабарова // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 6. — С. 58–65.

8. Управляемая система амортизации автомобиля : патент 2256831 Рос. Федерация : F16F 1/14 01/00 / О. В. Денисов, Д. О. Денисов, О. Ю. Дорофеев, П. П. Атмачиди, А. Г. Тихомиров, Л. А. Шевцова. — № 2003103134/11, заявл. 03. 02. 03; опубл. 20.07.05, Бюл. № 20.

Сдана в редакцию 20.02.2020
Запланирована в номер 23.04.2020

Об авторах:

Денисов Олег Викторович, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2983-6587, ovd63@mail.ru

Лондарева Людмила Александровна, ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ассистент, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8048-0803, londareva.mila@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

О. В. Денисов – работа над постановкой задачи, теоретическими материалами, рассмотрение примера, связанного с качеством, целостностью дорожного покрытия, участие в подготовке материалов по обсуждению перспективных направлений в повышении безопасности дорожного проектирования, общая редакция статьи. Л. А. Лондарева - подготовка анализа динамики строительства дорог, исторических справок, основных требований к современной автомобильной дороге, с учетом ее категории, показателей технического уровня и эксплуатационного состояния, работа с библиографическими ссылками, оформление статьи.

Submitted 20.02.2020
Scheduled in the issue 23.04.2020

Information about the authors:

Denisov, Oleg V., Associate Professor, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Cand. Sci., Associate Professor, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2983-6587, ovd63 @ mail.ru

Londareva, Lyudmila A., Assistant, Department of Life Safety and Environmental Protection, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Assistant, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8048-0803, londareva.mila@yandex.ru

Contribution of the authors:

O. V. Denisov – problem statement, theoretical materials, consideration of the example related to the road surface quality and integrity, participation in the preparation of materials to discuss promising directions in improving road design safety, general editorship of the article. L. A. Londareva – preparation of the analysis of road construction dynamics, historical references, main requirements for a modern highway, taking into account its category, indicators of technical level and operational condition, work with bibliographic references, preparation of the article.